

# 포도수확용 로봇 開發을 위한 영상처리시스템

## Development of image processing system for a harvesting robot of a grape

이용국*	이대원*	김동우*	김현태*	민병로*	김웅*
정회원	정회원	정회원	정회원	정회원	정회원
Y.K.Lee	D.W.Lee	D.W.Kim	H.T.Kim	B.R.Min	W.Kim

### 1. 서 론

현재 우리 농가의 포도수확은 대부분 많은 노동력이 소요되는 수(手)작업으로 이루어지고 있다. 한 손으로 과육을 잡고, 과경의 절단 위치를 눈으로 보거나, 감지하여 다른 한 손으로 도구를 이용하여 절단한다. 포도는 재배 수형과 종류에 따라 결과 높이에 차이는 있지만, 대부분 지상(地上)에서 50cm~150cm내외에서 결과(結果)한다. 또한 과경의 경질화에 따라 수확 시 많은 노동력을 필요로 한다. 특히 포도 과육은 높은 함수율로 인해서 수확 시 상품가치의 하락을 방지하기 위해서 많은 주의가 필요하다. 그러므로 각각의 독립된 수확을 하지 않으면 안 된다. 이에 따른 연속된 단순 반복 작업으로 피로도는 더욱 증가될 수밖에 없는 실정으로 재배에 많은 어려움을 낳고 있다. 이런 현실을 비추어 볼 때 우리의 농가는 수확에 있어서 적기수확을 통한 수확물의 고품질화 및 노동력절감을 위해 로봇 등을 이용한 자동화가 절실히 요구되고 있는 실정이다.

본 연구는 포도를 수확하는데 있어서 많은 노동력과 생산비를 절감하기 위해 포도 수확용 로봇을 개발하기 위한 기초연구로서 가장 중요하고 선행적으로 이루어져야 할 포도의 형상과 위치를 정확하게 파악하고자 하는데 있다.

3차원 공간상의 포도를 카메라로부터 얻어진 2차원 영상으로부터 포도를 정확히 인식하고, 인식된 포도를 정적인 물체의 3차원 시각을 고려하여 신속하고 정확하게 거리정보를 획득할 수 있는 3차원 시각장치를 구현하는데 목적이 있다.

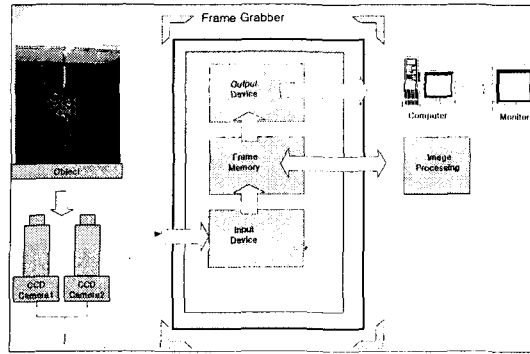
### 2. 재료 및 방법

#### (1) 실험장치

일반적으로 사용된 영상처리 시스템은 Fig. 1과 같이 영상신호입력부, 영상처리부, 컴퓨터 및 영상출력부로 구성된다. 입력 센서부에 해당하는 영상 입력장치로는 8.6mm렌즈를 부착한 Ikegami사의 컬러 CCD 카메라(ICD-703) 2대를 사용한다. 신호 처리부는 LG사의 LGV-5480TVR를 사용한다.

---

\* 성균관대학교 생명공학부 바이오메카트로닉스학과



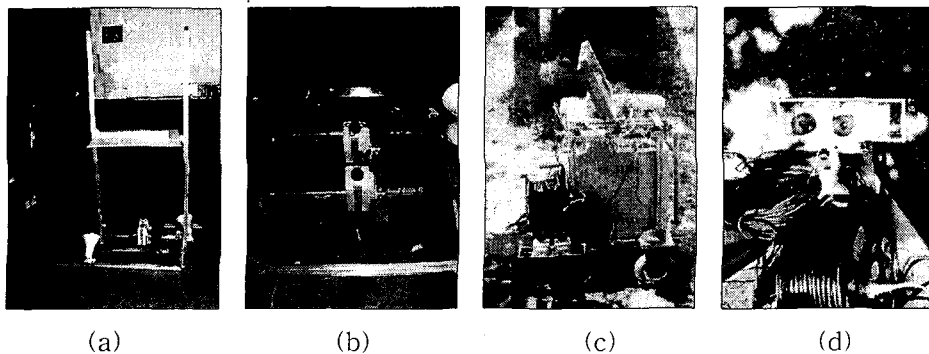
<Fig. 1> Image processing system

가. 실내실험

실내 실험을 하기 위해 영상처리 시스템을 설계·제작하였다. 그리고 상하기 쉬운 포도를 대신할 수 있는 모형 포도를 제작하였다. 2대의 카메라는 프로파일을 사용하여 카메라 렌즈와 렌즈사이의 거리를 100mm로 하여 고정하였고, 삼파장 조명(FTR25)을 사용한 조명 장치를 두 대 설치하여 영상처리알고리즘을 적용하는데 용이하도록 하였다. Fig. 2의 (a)와 (b)는 실제 제작된 모습이다.

나. 현장실험

실내 실험을 통해 얻은 포도 검출 영상처리 알고리즘을 현장에 적용하여 검증하기 위해 현장실험을 위한 영상처리 시스템을 설계·제작하였다. 현장실험장치는 영상처리를 위해 두 대의 카메라를 고정할 수 있는 카메라 고정틀과 컴퓨터를 놓을 수 있는 컴퓨터 고정부, 그리고 현장의 포도밭의 상황을 고려하여 포도밭을 이동할 수 있도록 4개의 바퀴와 조향장치로 구성되어 있다. 여기서 카메라는 각각의 카메라 거리를 100mm로 하였다. Fig. 2의 (c)와 (d)는 현장실험을 위해 실제 제작된 영상처리 시스템을 나타내었다.



<Fig. 2> Pictures of image processing system

## (2) 실험방법

### 가. 실내실험

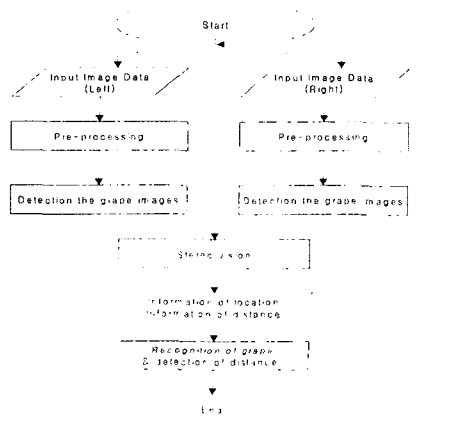
실내실험방법은 2대의 CCD 카메라를 바닥에 고정시키고, 제작한 모형포도를 카메라로부터 500mm에서 100mm씩 변화시켜가며 900mm까지 10회씩 50회를 실험하였다. 그리고 3차원 물체인 모형포도에 적용하여 실험거리와 실제거리의 오차를 구하였다.

### 나. 현장실험

실내실험을 통해 얻은 영상처리알고리즘을 현장실험을 통해 검증하기위해 경기도 안성에 위치한 포도 농가를 선정하여 실험하였다. 실험방법은 2대의 카메라를 고정시키고 현장실험장치를 이동시키며 포도의 인식 및 거리 정보를 얻도록 하였으며, 포도와 카메라의 실제 거리에 대하여 줄자를 이용하여 20회를 실험하였다. 그리고 실험을 통해 얻은 실험거리를 측정한 실제거리와의 오차를 계산하여 검증하였다.

## (3) 영상처리알고리즘

포도인식알고리즘의 구성은 크게 영상데이터의 입력, 전처리, 포도인식, 스테레오 비전으로 구성되었으며, 이 과정을 통해 포도의 형상 및 위치정보, 그리고 2대의 카메라에서 영상을 얻어 스테레오 비전을 이용하여 거리정보를 획득할 수 있도록 구성되었다. Fig. 3은 포도 인식알고리즘의 순서도를 나타내고 있다.



<Fig. 3> Flowchart of grape recognition algorithm

## 3. 결과 및 고찰

### (1) 포도 영상 검출

#### 가. 실내실험

포도 수확을 위한 영상처리 시스템 개발을 위해 먼저 실내에서 모형포도를 이용하여 포

도 외형을 검출하였다. Fig. 4는 모형포도의 외형검출 결과를 보여주고 있다.

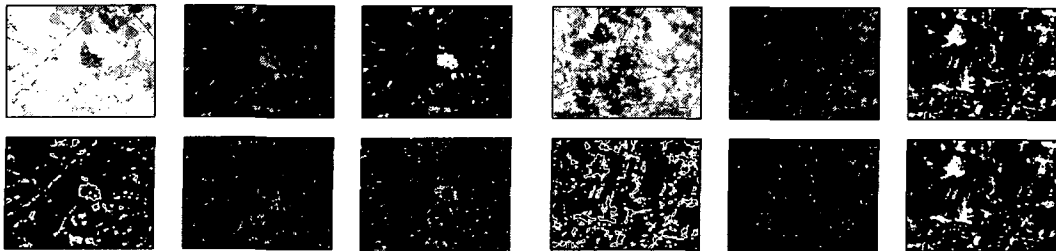


<Fig. 4> Detection of a model grape at indoor experiment

위의 결과에서 살펴보면 포도 형상이 뚜렷하게 나타났다. 이는 실험을 위해 제작된 실내 실험장치의 경우 조명이나 외부환경(배경)등의 영향이 일정하기 때문에 포도 검출이 양호했다고 판단된다.

#### 나. 현장실험

실내실험을 통하여 구축한 영상처리 알고리즘을 기반으로 실제 농가에서 현장실험을 하였다. 현장에서의 포도 검출효율을 알아보기 위해서 제작된 실험장치를 이용하여 카메라를 지면에서 수직 방향으로 하여 포도를 검출한 결과 Fig. 5와 같은 일반적인 검출 결과를 얻었다.



<Fig. 5> Detection of grape in the field <Fig. 6> Undetected grape in the field

그러나 현장에서는 검출을 위한 카메라의 위치와 태양광의 조도 등에 의해서 검출이 안 되는 경우도 발생하였다. Fig. 6은 현장에서의 포도 검출을 시도하였지만 외부환경의 영향으로 검출이 되지 않은 영상을 나타내었다. 현장에서 포도 검출시 조명의 방향이나 강도가 언제나 가변적이기 때문에 실내실험에서 구축한 영상처리 알고리즘이 완벽하지 않은 결과를 나타내었다. 현장에서의 포도 검출실험을 위해 20개의 현장 영상을 획득하였다. 그 결과 20개의 영상 중에서 12개의 영상에서 포도를 검출하여 약 60%의 검출율을 보였다.

### (2) 포도의 3차원 위치 검출

#### 가. 실내실험

Table 1은 실내에서 2대의 CCD 카메라에서 획득한 포도 검출 결과를 나타내었다.

<Table 1> Distances between model grapes

No.	Actual distances	Calculated distances	Errors	No.	Actual distances	Calculated distances	Errors
1	500	500.261	0.261	46	900	936.260	36.260
2	500	500.261	0.261	47	900	885.018	14.982
3	500	494.616	5.385	48	900	901.505	1.505
4	500	494.616	5.385	49	900	869.083	30.917
5	500	500.261	0.261	50	900	918.576	18.576
⋮	⋮	⋮	⋮	Average			7.309
⋮	⋮	⋮	⋮	Standard deviation			8.280

위의 결과에서 살펴보면 전체오차의 평균은 약 7.3mm이었으며 표준편차가 약 8.3mm로 나타났다. 또한 10mm이상의 오차가 발생한 경우는 8회가 있었으며, 이는 약 16%에 해당하였다. 이러한 큰 오차의 발생 경향은 실험 시점에서 영상의 검출과정에서 발생하는 화소값의 변화로 판단된다.

나. 현장실험

Table 2는 현장에서 2대의 CCD 카메라에서 획득한 포도 검출 결과를 나타내었다.

<Table 2> Results of calculated distances from the grape images

No.	Actual distances(mm)	Calculated distances(mm)	Errors(mm)
1	1011	973.607	37.393
2	1032	1035.151	3.151
3	1077	1080.387	3.387
4	1100	1104.424	4.424
5	1125	1129.486	4.486
6	1155	1155.639	0.639
7	1180	1182.955	2.955
8	1210	1211.513	1.513
9	1239	1241.397	2.397
10	1270	1272.700	2.700
11	1306	1305.524	0.476
12	1340	1339.980	0.020
Average	-	-	5.295
Standard deviation	-	-	10.214

전체적으로 실제거리와 계측거리간의 오차는 5mm 이내로 비교적 정확한 계측을 하였다. 단지 1번 포도 영상의 경우 약 37mm정도의 큰 오차를 보이고 있는 것을 알 수 있다. 이는 실제거리 계측과정에서 발생한 오차로 생각되었으며 전체적인 결과에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단되며, 오차의 평균은 약 5mm로 나타났다.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구에서는 포도 수확기 개발을 위해 가장 중요한 기술인 영상처리시스템을 개발하기 위하여 두 대의 카메라를 이용한 스트레오 영상 시스템을 구성하였다. 따라서 3차원 공간상의 포도를 카메라로부터 얻어진 2차원 평면 영상으로부터 포도를 정확히 인식하고 인식된 포도를 정적인 물체의 3차원 공간영상의 시각을 고려하여 신속하고 정확하게 거리정보를 획득할 수 있는 3차원 공간 영상의 시각장치를 구현하고자 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 가. 모형포도를 이용한 실내에서의 스트레오 영상 거리 측정 결과 실제거리 1100mm까지는 오차가 5mm이하로 비교적 정확한 측정을 할 수 있었다. 그러나 실제거리 1200mm이상에서는 10mm 이상으로 비교적 오차가 크게 나타난 것을 알 수 있다. 이는 거리가 멀어지면서 영상의 화소값을 통한 거리 측정에서 단위화소에 해당하는 실제거리의 정확도가 감소한 것으로 판단되었다.
- 나. 현장에서 획득한 포도 영상을 이용한 스트레오 영상 거리측정 결과 실제거리와 측정거리간의 오차가 5mm 이내로 정확하게 측정되었다. 따라서 스트레오 영상을 이용한 포도까지의 거리측정용 영상처리 시스템은 현장에서 적용가능 할 것으로 판단되었다.

#### 5. 참고문헌

1. Guyer, D. E., G. E. Miles, M. M. Schreiber, O. R. Mitchell and V. C. Vanderbilt, 1989, Machine Vision and Image Processing for Plant Identification, Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, Volume 29(6): pp.1500-1507.
2. Howarth, M. S., 1987, Image Analysis by Computer Vision with Applications to Examining Agricultural Products, M. S. Thesis, Department of Biological and Agricultural Engineering, North Carolina State University, Raleigh, NC.
3. Lee, Dae-Weon, 1990, A Robotic and Vision System for Locating and Transferring Container Grown Tobacco Seedling, Ph. D. Thesis, Department of Biological and Agricultural Engineering, North Carolina State University, Raleigh, NC.
4. Meiering, A.G., R.E., Subden, and G., Hayward, 1989, Adaptive Fermentation Control by Microcomputer, Trans. ASAE.32(4):pp. 1470 -1476
5. 송현갑, 금동혁, 류관희, 이기명, 이종호, 정두호, 1993, 시설원예 자동화, 문운당.
6. 이대원, 1996, 머니플레이터 및 엔드이펙터 개발현황과 연구과제, “농업용 로봇 연구개발 동향과 전망” 심포지엄 발표문. p29-55, 농촌진흥청 농업기계화연구소.
7. 이대원, 성시홍, 1996, 오이의 등급 판정을 위한 영상처리 시스템 개발, 한국원예학회지 제 37권 제3호. p399-405, 한국원예학회.